

Navicularefraktur
und
Pseudarthrose

Volker Schlömer

1982



Aus der chirurgischen Poliklinik der Universität München

Direktor: Prof. Dr. Holle

NAVICULAREFRAKTUR UND PSEUDARTHROSE

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Volker Schlömer

aus

München

1982

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. F. Holle

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 9. März 1982



INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung.....	1
Anatomie.....	1
1. Knochen, Gelenkflächen.....	1
2. Handwurzelgelenke.....	3
3. Histologie.....	3
Bewegungsumfang.....	4
Frakturentstehung und Einteilung.....	7
1. Abrißfraktur.....	7
2. Biegungsbruch.....	7
3. Kompressionsbruch.....	8
4. DE QUERVAINsche Luxationsfraktur.....	8
Prädisposition.....	9
Symptomatik.....	10
Differentialdiagnose.....	10
Röntgenologie.....	11
Therapie.....	12
1. Reposition.....	12
2. Fixation, äußerlich.....	12
a) Gipsschiene nach BÖHLER.....	12
b) REHBEIN-Gips.....	13
c) Arbeitsgips nach HEIM.....	13
d) Gipsverband nach A WENGEN.....	13
3. Fixation, intern.....	13
a) Fragmentnagelung.....	14
b) Verschraubungsosteosynthese.....	14
Heilungsaussichten.....	14
Entstehung der Pseudarthrose.....	15
Naviculare bipartitum.....	16

Therapie der Pseudarthrose.....	16
1. BECKsche Bohrung.....	16
2. Blockimplantation.....	17
3. MATTI-Plastik.....	17
4. Fibrinkleber.....	17
5. Spanbolzung.....	17
6. Fragmentnagelung, Verschraubungsosteosynthese	17
7. Fragmentexstirpation.....	18
8. Prothesen.....	18
9. Behandlung veralteter Luxationsfrakturen....	18
Ursachen der schlechten Knochenbruchheilung....	19
Statistische Untersuchung von Naviculare- frakturen.....	20
1. Krankengut.....	20
2. Geschlechtsverteilung.....	20
3. Altersverteilung.....	21
4. Ursachen.....	22
5. Zeitpunkt der Diagnosestellung und des Therapiebeginns.....	22
6. Behandlungsdauer.....	23
7. Ergebnisse.....	23
Einfluß der Blutgefäßversorgung auf die Frakturheilung.....	24
Einfluß des Bandapparates auf die Fraktur- heilung.....	26
1. Anatomie.....	26
2. Lokalisation der Frakturlinien und der Pseudarthrosen.....	31
3. Verhalten der Bänder bei Handbewegungen....	32
4. Einfluß der Bänder auf die Frakturfragmente.	33
a) Frakturen im distalen Drittel.....	34
b) Frakturen im mittleren Drittel.....	36
c) Frakturen im proximalen Drittel.....	38
5. Ergebnisse.....	40
Zusammenfassung.....	42
Literaturverzeichnis.....	44

E I N L E I T U N G

Brüche des Os naviculare gehören zu denjenigen Frakturen, die häufig übersehen und dadurch fehlbehandelt werden. Dies hat bei dem Patienten zumeist weitreichende negative Auswirkungen für die Funktion der Hand. Es ist daher bei in diesem Bereich lokalisierten Verletzungen besonders vordringlich, durch frühzeitige Diagnose und Behandlung eine spätere Funktionseinschränkung zu verhindern. Für die Beurteilung der Entstehung der Fraktur, für die Wahl der Therapie und die Einschätzung der Heilungsaussichten ist die Kenntnis der Anatomie des Os naviculare von großer Bedeutung, vor allem im Zusammenhang mit der Anatomie des gesamten Handgelenks.

A N A T O M I E

1. Knochen, Gelenkflächen

Das Os naviculare (deutsch Kahnbein) wird der proximalen Reihe der Handwurzelknochen zugerechnet, ragt jedoch teilweise in die distale Reihe hinein. Es hat an der palmaren Fläche am weitesten distoradial einen Höcker, das Tuberculum ossis navicularis, der zusammen mit dem Tuberculum ossis trapezii als Eminentia carpi radialis gut zu fühlen ist.

An drei Flächen bildet das Kahnbein gelenkige Verbindungen mit Nachbarknochen. Distal artikuliert es mit dem Os trapezium und dem Os trapezoidum, die mediale konkave Fläche artikuliert mit dem Os lunatum und dem Os capitatum. Die proximale, völlig konvexe Fläche bildet zusammen mit dem Os lunatum eine gelenkige Verbindung mit dem Radius, und zwar der Facies articularis carpea. Diese Gelenkfläche wird nach distal durch den Processus styloideus radii verlängert, so daß das Naviculare auch zum Teil von lateral umfaßt wird. Bedingt durch die Beteiligung des Kahnbeins an den drei genannten Gelenken ist der größte Teil seiner Oberfläche von Knorpel überzogen. Vom Periost umkleidet ist nur ein schmaler, extraartikulär gelegener Streifen zwischen proximalem und distalem Kahnbeinteil, das Tuberculum und ein kleines Dreieck auf der palmaren Seite. Im übrigen setzen an den nicht von Gelenknorpel überzogenen Seiten zahlreiche Bänder an, die für die teilweise schlaffen Gelenkkapseln eine gute Verstärkung bilden.

Os naviculare der rechten Hand

Knochen, Gelenkflächen

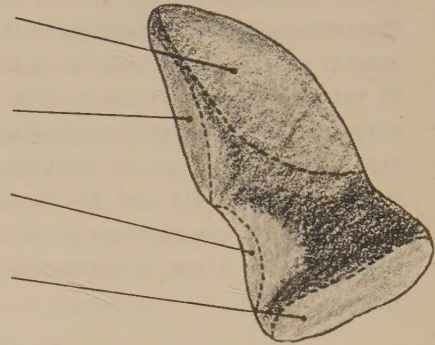
Dorsalansicht

Gelenkfläche zum
Radius

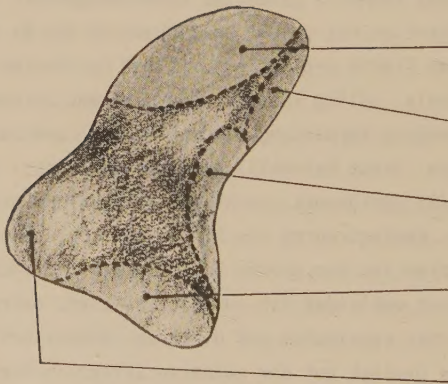
Gelenkfläche zum
Os lunatum

Gelenkfläche zum
Os capitatum

Gelenkfläche zum
Os trapezium bzw.
Os trapezoideum



Palmaransicht



Gelenkfläche zum
Radius

Gelenkfläche zum
Os lunatum

Gelenkfläche zum
Os capitatum

Gelenkfläche zum
Os trapezium bzw.
Os trapezoideum

Tuberculum

Der gesamte Bandapparat sowie die Gefäßversorgung des Os naviculare werden später noch Gegenstand eingehender Untersuchungen sein.

2. Handwurzelgelenke

Das Handgelenk stellt funktionell und anatomisch eine Kombination von zwei Einzelgelenken dar, dem proximalen und dem distalen Handwurzelgelenk. Das proximale Handwurzelgelenk, die *Articulatio radiocarpeae*, wird gebildet vom Radius, einem *Discus articularis* und der proximalen Reihe der Handwurzelknochen, zu der neben dem Naviculare das Os lunatum, das Os triquetrum und diesem aufgelagert das Os pisiforme gehört. Die Kapsel dieses Gelenks ist schlaff und dorsal relativ dünn. Das distale Handwurzelgelenk, die *Articulatio mediocarpeae*, wird von der proximalen und der distalen Reihe der Handwurzelknochen gebildet. Die distale Reihe besteht aus dem Os trapezium, dem Os trapezoideum, dem Os capitatum und dem Os hamatum, die alle durch kurze, starke Bänder untereinander verbunden sind. Die Beweglichkeit dieser Knochen untereinander ist deshalb im Vergleich zur proximalen Reihe geringer. Die beiden Handwurzelreihen bilden einen "S"-förmigen Gelenkspalt, der zwischen den einzelnen Carpalknochen teilweise mit dem Gelenkspalt der *Articulatio radiocarpeae* in Verbindung steht.

3. Histologie

Von CARSTENSEN wurde der histologische Aufbau des Naviculare untersucht. Dabei ergab sich folgendes:

Die Corticalis des Kahnbeins ist ungewöhnlich dünn, insbesondere an der Taille. Die Spongiosabälkchen sind im Knochen gleichmäßig verteilt, so daß ein eigentlicher Markraum fehlt. Es fällt auf, daß die Lücken zwischen den Spongiosabälkchen im Mittelbereich des Naviculare größer werden. Am proximalen und distalen Ende sind sie dagegen dichter gelagert.

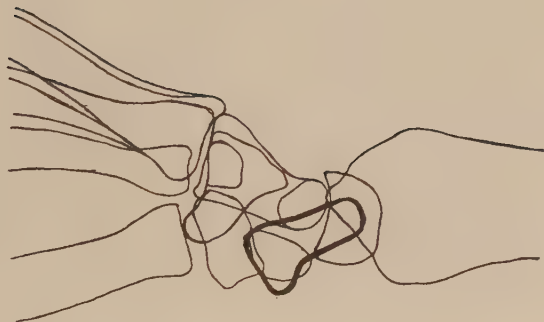
BEWEGUNGSUMFANG

Durch das Handgelenk kann die Hand nach dorsal, palmar, ulnar und radial bewegt werden. Dabei werden die proximalen Handwurzelknochen bei Palmarflexion der Hand nach dorsal, bei Dorsalextension nach palmar verschoben. Die Bewegungen werden um zwei transversale Achsen durchgeführt. Der Winkel zwischen der maximalen Dorsalextension bzw. Palmarflexion beträgt etwa 170 Grad, der dorsopalmar Bewegungsumfang für das Kahnbein allein aber nur 120 Grad. Der Differenzwinkel resultiert aus einer Drehung gegenüber dem Os lunatum um etwa 50 Grad (FICK). Das Naviculare bewegt sich mit der distalen Handwurzelreihe noch weiter, wenn die proximale Reihe bereits gehemmt ist. Dabei ist bei Dorsalextension die Bewegung des Naviculare gegenüber dem Os lunatum größer als bei Palmarflexion (LÖSCH). An der Dorsalextension ist hauptsächlich das Mediocarpalgelenk beteiligt, an der Palmarflexion mehr das Radiocarpalgelenk.

Von diesen "Flächenbewegungen" nach dorsal und palmar unterscheidet man die sogenannten Randbewegungen nach radial bzw. nach ulnar. Bei der Radialabduktion kommt es zu einer Kippung des Os naviculare um eine radioulnare Achse. Hierbei wird das Kahnbein nach palmar, das Os trapezoideum nach dorsal gezogen. Das Os trapezoideum sowie das Os trapezium nähern sich dem Radius. Dabei würde das Naviculare zwischen beiden Knochen eingeklemmt, wenn es nicht nach palmar und ulnar ausweichen würde. Bei der Ulnarabduktion wird das Kahnbein vom Radiusrand weggedreht, so daß die Berührungsfläche zwischen der konvexen Seite des Os naviculare und dem Radius kleiner wird. Bei allen Bewegungen nimmt die proximale Reihe eine diskusähnliche Funktion ein, da die distale Reihe durch Bänder fest mit den Mittelhandknochen verbunden ist. Da das Naviculare weit in die distale Reihe hineinragt, eigentlich aber zur proximalen Reihe gehört, ist es bei allen Bewegungen einer besonders starken Beanspruchung ausgesetzt.

Flächenbewegungen der rechten Hand

- 5 -



Mittelstellung



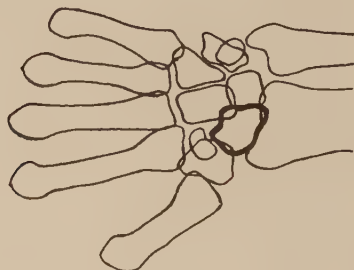
Dorsalextension



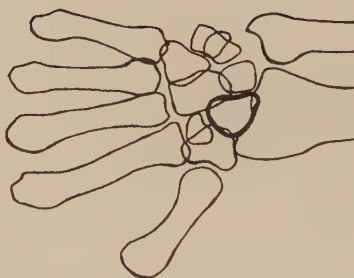
Palmarflexion

Bewegungsumfang nach Röntgenbildern (nach PLATZER)

Randbewegungen der rechten Hand



Normalstellung



Radialabduktion



Ulnarabduktion

FRAKTURENTSTEHUNG UND EINTEILUNG

Bei der Frakturentstehung unterscheidet man direkte und indirekte Brüche. Beim Kahnbein kommt es in der überwiegenden Zahl der Fälle zum Bruch durch indirekte Gewalteinwirkung. Ein direktes Trauma, wie z. B. ein Schlag auf die Handwurzel oder eine Quetschung der Hand, wird selten beobachtet. Außerdem kann es noch zu einem sogenannten Ermüdungsbruch kommen. Hierbei handelt es sich primär um einen degenerativen Umbau des Knochengewebes (SPANN). Die Fraktur entsteht durch fortgesetzte Mikotraumen, wie es z. B. bei Preßluftarbeitern der Fall sein kann.

Die indirekten Brüche können nach der Lokalisation der Frakturstelle eingeteilt werden. Dabei unterscheidet man Brüche, die im proximalen, mittleren oder distalen Drittel des Naviculare liegen.

Nach HEIM werden die Frakturen des Kahnbeins nach ihrem Entstehungsmechanismus in Rißfrakturen, Biegungs- und Kompressionsbrüche eingeteilt.

Eine Frakturart, die sich in dieser Unterteilung nicht einordnen läßt, ist die transnaviculo-lunäre Luxationsfraktur nach DE QUERVAIN.

1. Abrißfraktur

Die Abrißfraktur des Naviculare ist die einzige extraartikulär gelegene Kahnbeinfraktur. Es kommt dabei zu einem Abriß des Tuberculum. Bei Ulnarabduktion der Hand spannt sich das Ligamentum collaterale carpi radiale an, das vom Processus styloideus radii zum Tuberculum des Kahnbeins zieht. Bei zu starker Anspannung des Ligaments und einer zusätzlichen Gewalteinwirkung wird das Tuberculum abgerissen. Die Fraktur verläuft in einem ganz von Periost überzogenen Gebiet. Sie heilt meist ohne Komplikationen gut ab (BÖHLER).

2. Biegungsbruch

Ein Biegungsbruch kann entstehen, wenn es zu einem Sturz auf die palmarflektierte Hand kommt. Dabei wird das Kahnbein gegen die vordere

Kante des Radius gepreßt, so daß es entweder zu einer Fraktur dieser Radiuskante kommt oder zu einer Fraktur des Kahnbeins, die durch die schwächste Stelle, nämlich die Mitte, verläuft. Es besteht außerdem die Möglichkeit eines Biegungsbruches in Ulnarabduktion. Dabei hat das Naviculare zum großen Teil die Radiusgelenkfläche verlassen und wird über den Processus styloideus radii gebrochen.

3. Kompressionsbruch

Die häufigste Ursache für eine Navicularefraktur ist ein Sturz auf die nach dorsal extendierte Hand. Ist die Hand außerdem extrem nach radial abduziert, kommt es zu einem typischen Kompressionsbruch. Die Kraftlinie verläuft bei dieser Stellung durch den Mittelhandknochen III - Os capitatum-Os naviculare-Radius. Das Kahnbein wird dabei zwischen Os capitatum und Radius eingeklemmt, so daß es zu einer Kompressionsfraktur kommt, die intraartikulär liegt und mit einer Zermahlung der Spongiosa im Taillenbereich einhergeht. Bei Ulnarabduktion verläuft die Frakturlinie nahe dem ulnaren Teil des Naviculare, entsprechend dem Kraftlinienverlauf bei Gewalteinwirkung. Da die Hand beim Sturz zum Abfangen des Körpergewichts reflektorisch in Ulnarabduktion und Dorsalextension gebracht wird, ist ein Frakturmechanismus aus dieser Stellung am häufigsten zu erwarten.

4. DE QUERVAINsche Luxationsfraktur

Seltener ist dagegen die transnaviculo-lunäre Luxationsfraktur nach DE QUERVAIN. Zu dieser Frakturform kann es nur dann kommen, wenn ein starkes Trauma das Handgelenk in extremer Dorsalextension trifft. Das Os lunatum ist mit den übrigen Karpalknochen durch nur schwache Bänder verbunden. Nur das Ligamentum naviculolunatum ist stärker. Dazu ist das Ligamentum radiocarpum palmare, das vom Lunatum zum Radius verläuft, sehr straff und stark. Kommt es zu einer Gewalteinwirkung auf die extrem nach dorsal extendierte Hand, reißen die Ligamenta intercarpea ab, und die übrigen Karpalknochen werden gegenüber dem

Os lunatum und dem Radius luxiert. Eine solche perilunäre Luxation ist häufig von einem Bruch des Naviculare begleitet. Diese Luxationsfraktur entsteht folgendermaßen. Der proximale Teil des Naviculare ist durch die Ligamenta radiocarpea mit dem Radius und durch das Ligamentum naviculo-lunatum mit dem Os lunatum verbunden. Bleiben diese Bandstrukturen bei einer Gewalteinwirkung mit Fraktur des Os naviculare intakt, kann es zu einer Luxation um das Os lunatum kommen. Dabei wird der distale Teil des Kahnbeins mit den übrigen Handwurzelknochen gegenüber dem Os lunatum, dem Radius und dem proximalen Fragment des Kahnbeins luxiert. Dies bezeichnet man als transnaviculo-perilunäre Luxationsfraktur. Eine Komplikation dieser Luxationsfraktur kann die Lähmung des Nervus medianus sein. KUNER und SCHLICKWEI fordern daher, daß jede derartige Verletzung routinemäßig sofort neurologisch überprüft wird.

P R Ä D I S P O S I T I O N

Es besteht die Meinung (SCHNEK, A WENGEN), daß anatomische Besonderheiten des Handgelenks eine Fraktur des Kahnbeins begünstigen. Es wurden vielfach Messungen an Röntgenbildern von Personen mit und ohne Navicularefrakturen durchgeführt. Dabei sollte geklärt werden, ob es bei Kahnbeinbrüchen zu etwaigen anatomischen Abweichungen gegenüber der normalen Handgelenksmorphologie kommt.

SCHNEK legte dabei besonderen Wert auf die sogenannte Radiuskonsole. Normalerweise steht die distale Gelenkfläche des Radius nahezu rechtwinklig zur Radiuslängsachse und ist nur unbedeutend nach palmar geneigt. Bei einer Vielzahl von Kahnbeinbrüchen beobachtet SCHNEK eine stärkere Palmarneigung und gleichzeitig ein konsolenartiges Vorspringen des Radius nach palmar, was von ihm als eine ungünstige Prädisposition zu Navicularefrakturen gesehen wurde.

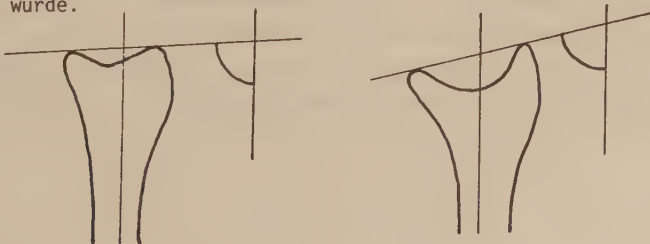


Abb. 4

SYMPTOMATIK

Die Merkmale und Symptome eines frischen Kahnbeinbruches wurden schon mehrfach beschrieben. Es sind dies: Ein mit seinem Maximum auf die Gegend der Tabatiere lokalisierter, dorsal und palmar des Handgelenks auftretender Druckschmerz. Die Bewegung im Handgelenk ist eingeschränkt (Functio laesa), vor allem die Dorsalextension und die Radialabduktion. Weniger, aber dennoch behindert ist die Abduktion nach ulnar und die Palmarflexion. Es werden Schmerzen beim Heben schwerer Gegenstände, beim Händedruck und dem Faustschluß angegeben. Die grobe Kraft ist reduziert, oft um mehr als 50 % im Vergleich zur gesunden Seite. Als weiteres Symptom wird ein Stauchungsschmerz angegeben, der durch Beklopfen des ersten und zweiten Mittelhandköpfchens ausgelöst werden kann (A WENGEN). Ebenfalls schmerzhaft soll das Beklopfen des dritten Mittelhandköpfchens in Radial- und Ulnarabduktion sein.

DIFFERENTIALDIAGNOSE

Nahezu alle diese Symptome können auch bei anderen Handgelenksverletzungen auftreten, wie zum Beispiel bei Distorsionen und Prellungen. Sichere klinische Frakturzeichen wie Krepitation, Stufenbildung oder abnorme Beweglichkeit fehlen, was die differentialdiagnostische Abgrenzung erschwert. Von SCHNEK wurde deshalb als weitere Hilfe für eine Differentialdiagnose zwischen einer Distorsion und einer Fraktur die Probepunktion angegeben. Dabei sollen auf dem frisch aspirierten Blut beim Kahnbeinbruch kleinste Fettröpfchen schwimmen als Zeichen für eine Knochenmarksverletzung. A WENGEN sieht darin allerdings ein wenig verlässliches Hilfsmittel für die Diagnose. Da dies außerdem eine invasive Methode darstellt, ist sie zudem mit der Gefahr eines Infektes verbunden. Die Bildung eines Fett-Flüssigkeitsspiegels läßt sich übrigens bei mancher Fraktur im Bereich der der Fraktur benachbarten Weichteile auf dem Röntgenbild beobachten.

RÖNTGENOLOGIE

Da die rein klinische Untersuchung aus den genannten Gründen nur eine Verdachtsdiagnose zuläßt, müssen zur Diagnosesicherung unbedingt Röntgenbilder angefertigt werden. Bei Routineaufnahmen der Handwurzel in ausgestreckter Handstellung, erscheint das Naviculare nur verkürzt auf dem Röntgenbild, da der distale Teil des Kahnbeins nach palmar gekippt ist. Es kann daher schlechter beurteilt werden.

Die heute gebräuchlichsten Spezialtechniken stammen von SCHNEK, JACOBSEN, BÖHLER. Hierbei wird die Hand mit leicht zur Faust geschlossenen Fingern auf die Filmkassette gelegt. In dieser Position wird nun eine Aufnahme im dorsopalmaren und eine im radioulnaren Strahlengang gemacht. Die Aufnahme im radioulnaren Strahlengang ist für die Diagnose der meisten Kahnbeinbrüche allerdings von untergeordneter Bedeutung, da die Interpretation des Röntgenbildes durch Überlagerung anderer Handwurzelknochen erschwert wird, insbesondere des Os lunatum, Os triquetrum, Os capitatum und des Os pisiforme. Sie gewinnt jedoch an Bedeutung zur Erkennung von Luxationen im Handwurzelbereich und ist diagnoseweisend für die transnaviculo-lunäre Luxationsfraktur. JACOBSEN hat den Vorschlag gemacht, zu den genannten Aufnahmen noch ein Röntgenbild mit schräg gehaltener Hand zu machen. Hierfür soll die Hand bei ausgestrecktem Arm mit der Daumen-dorsalseite auf der Kassette liegen, so daß der Zentralstrahl schräg auf die Palmarfläche der Hand trifft. Mit dieser Aufnahmetechnik gelang es, Navicularbeschädigungen zu entdecken, die auf den konventionellen Röntgenbildern nicht sichtbar waren. Auch bei unseren Untersuchungen kamen wir zu dem Ergebnis, daß Aufnahmen mit schräg zur Hand gerichtetem Röntgenstrahl große Vorteile bringen zur Beurteilung des Kahnbeins, vor allem dessen ulnare Seite und der palmaren radialen Kante. Die Hand lagern wir auf einem Schaumstoffkeil mit leicht zur Faust abgewinkelten Fingern. Dabei liegt der Daumen in Kasettennähe, so daß die Verzeichnung möglichst klein gehalten wird und der Zentralstrahl schräg auf den Handrücken trifft. Die Röntgentomographie stellt ein weiteres Hilfsmittel zur Diagnosesicherung dar, insbesondere um das Ausmaß von Dislokationen, die genaue Lage der Einzelfragmente bei Mehrfachfrakturen zu erfassen.

Wenn man bei der ersten Aufnahmeserie keine Frakturlinien findet, ist es bei Anhalten der Beschwerden zu empfehlen, nach 2-3 Tagen ein Szintigramm der Handwurzel zu erstellen. Bei der Szintigraphie werden radioaktive Stoffe in den Körper gebracht und deren räumliche Verteilung dargestellt. Dabei kann man Bezirke mit erhöhter Stoffwechselaktivität lokalisieren, da sich dort die Radionuklide anreichern. Dies ist auch bei sehr feinen Knochenfissuren der Fall, die auf einem Röntgenbild nicht entdeckt werden können. Auf Röntgenaufnahmen würden solche Frakturlinien erst nach einigen Wochen sichtbar, weil es dann zur Resorption von Knochengewebe im Bereich des Bruchspaltes gekommen ist.

T H E R A P I E

Um eine knöcherne Konsolidierung der Fraktur zu erreichen, ist eine möglichst frühzeitige Behandlung des Kahnbeinbruchs erforderlich. Die Therapie erfolgt nach den Grundregeln jeder Frakturbehandlung: zuerst die Reposition der Bruchstücke und dann deren Fixation.

1. Reposition

Eine Reposition ist bei der Mehrzahl der Navicularefrakturen nicht erforderlich, da es meist nicht zu einer Dislokation der Fragmente kommt. Die Reposition kann allerdings größere Schwierigkeiten machen bei Luxationsfrakturen und Frakturen mit mehr als zwei Bruchstücken. Wird bei Luxationsfrakturen die Luxation nicht behoben, macht dies auch eine knöcherne Ausheilung der Navicularefraktur unmöglich. Nach geglückter Reposition der Luxation sind die Ergebnisse aber auch um so schlechter je längere Zeit zwischen Luxation und Reposition vergangen ist (SPIER).

2. Fixation, äußerlich

Die Fixation wird heute noch unterschiedlich durchgeführt.

a) Gipsschiene nach BÖHLER

BÖHLER empfiehlt eine dorsale und palmare Gipsschiene, die in leichter

Ulnarabduktion der Hand angelegt wird und vom Ellbogen bis zu den Fingergelenken reicht unter Freigabe dieser Gelenke. Dadurch soll eine Muskelatrophie verringert und die Blutzirkulation verbessert werden.

b) REHBEIN-Gips

REHBEIN und DÜBEN stellten bei röntgenologischen Untersuchungen allerdings fest, daß nach Anlegen der Gipsschiene nach BÖHLER noch leichte Bewegungen der Bruchfragmente des frakturierten Naviculare gegeneinander möglich waren. Sie schlossen daher mit einem Faustgipsverband alle Finger in Gebrauchsstellung mit in die Fixation ein. Dies stellt eine relativ gute Immobilisierung sicher, führt aber zwangsläufig dazu, daß Fingerbewegungen während der gesamten Dauer der Ruhigstellung nicht möglich sind, was zu verstärkter Muskelatrophie führen kann.

c) Arbeitsgips nach HEIM

Aus diesem Grund wurde von HEIM ein sogenannter Arbeitsgips entwickelt, bei dem außer dem Handgelenk noch die Grundglieder des Daumens und des zweiten und dritten Fingers ruhiggestellt sind.

d) Gipsverband nach A WENGEN

A WENGEN konstruierte einen Gipsverband, der ebenfalls als Arbeitsverband zu verwenden ist. Er umfaßt den halben Vorderarm, wodurch die Vorderarmmuskulatur in vermehrtem Maße freigegeben wird und so die Blutzirkulation verbessert wird. Durch eine Fixationsspanne in der Interdigitalregion I soll der Metacarpus I genügend ruhiggestellt sein. Da so das Daumengrundgelenk freigegeben wird, sei ein Faustschluß möglich. In jedem Fall ist darauf zu achten, daß der Gipsverband nach Abswellen des Handgelenks, aber auch bei beginnender Muskelatrophie erneuert wird, da die mit einer Gipslockerung gegebene Bewegungsmöglichkeit die Ruhigstellung im Bereich des Naviculare verhindert. Die Fixationsdauer wird unterschiedlich mit sechs bis zwölf Wochen angegeben. BÖHLER, A WENGEN sehen sechs Wochen als die minimale Fixationsdauer an, wobei die Grenze nach oben sehr variabel ist und von den individuellen Heilungserfolgen abhängt.

3. Fixation, intern

Bei stark dislozierten Navicularefrakturen, mehreren Frakturfragmenten, der DE QUERVAINSchen Luxationsfraktur und kombinierten Traumata muß meist operativ vorgegangen werden. Aber auch hier sollte zuerst eine unblutige Reposition der Bruchstücke versucht werden. Durch eine interne Fixation kann

außerdem die Immobilisierungszeit verkürzt werden.

a) Fragmentnagelung

Ein Verfahren zur primären operativen Osteosynthese ist die Fragmentnagelung. GEISSENDÖRFER benutzte dazu einen Kirschnerdraht von 1,1-1,4 mm Stärke und etwa 6 cm Länge. Nach lokaler Betäubung wird die Hand in ein speziell dazu konstruiertes Lagerungskästchen gelegt und der Nagel von der Einschlagstelle an der Tuberositas bis ins distale Fragment eingetrieben und circa 0,5 cm über der Haut abgeschnitten. Der Nachteil der Fragmentnagelung besteht aber in der erheblichen Rotationsinstabilität, was eine Knochenbruchheilung erschweren wird. Daher ist auch unbedingt zusätzlich ein Gipsverband anzulegen.

b) Verschraubungsosteosynthese

In der Meinung, daß achsengerechte Kompression auf den Frakturspalt heilfördernde Wirkung hat, wurde von MC LAUGHLIN der Versuch gemacht, die Fraktur durch eine primäre Verschraubungsosteosynthese zur knöchernen Konsolidierung zu bringen. Bei dieser Methode wurden allerdings von A WENGEN osteolytische Knochennekrosen beobachtet, wodurch eine sichere Fixation nicht mehr gewährleistet war. Von ALLGÖWER, MÜLLER, WILLENEGGER wurde daher eine Schraube speziell für das Os naviculare konstruiert. Mit dieser kleinen Spongiaschraube der AO werden sowohl frische Brüche als auch Pseudarthrosen angegangen. Die Bewegungsstabilität ist so groß, daß man meist auf eine zusätzliche äußere Fixation verzichten kann (BURRI).

Insbesondere für die DE QUERVAINsche Luxationsfraktur ist die Verschraubungsosteosynthese vorzuziehen (KUNER, SCHLICKWEI).

H E I L U N G S A U S S I C H T E N

Man unterscheidet zwei Arten der Knochenbruchheilung. Die primäre Heilung mit direktem Umbau der Haverschen Systeme. Diese primäre Knochenbruchheilung kann nur erreicht werden, wenn die Fragmente exakt reponiert und unter Druck fixiert werden. Eine Kallusbildung ist hierbei nicht nötig und sogar unerwünscht.

Anders ist die sekundäre Knochenbruchheilung durch die zwischenzeitliche

Ausbildung eines Kallus im Bruchspalt gekennzeichnet. Dieser Kallus wird dann später in lamellären Knochen umgebaut. Bei der konservativ behandelten Navicularefraktur kommt es fast nur zu einer sekundären Knochenbruchheilung. Über die allgemeinen Heilungsaussichten gibt es verschiedene Auffassungen. SCHINZ war der heute nicht mehr vertretenen Meinung, daß jede Navicularefraktur nur pseudarthrotisch ausheile und ein Fixationsverband nur zur Minderung der Schmerzen und bis zum Abklingen der akuten Erscheinungen Berechtigung habe. Als Konsequenz wurde eine Pseudarthrose in Kauf genommen! Es steht aber fest, daß die Knochenbruchheilung bei Kahnbeinbrüchen schlechter ist als bei den meisten anderen Frakturen.

ENTSTEHUNG DER PSEUDARTHROSE

Es wurde festgestellt, daß sich Druck günstig auf die Knochenbruchheilung auswirkt. Demgegenüber sind Scher-, Dreh- und Biegunskräfte im Frakturbereich bei ungenügender oder fehlender Fixation einer knöchernen Konsolidierung abträglich. Diese Kräfte kommen bei einer Navicularefraktur besonders zum Tragen. Da das Kahnbein funktionell gesehen zur proximalen und distalen Handwurzelreihe gehört, ist es bei Bewegungen besonders beansprucht. Nach HOLLE kommt es bei nicht genügender Ruhigstellung bei der Umformung des Granulationsgewebes in einen Kallus zu Störungen und der Ausbildung einer fibrösen Narbe. Der Frakturspalt wird von narbigem Gewebe ausgefüllt, das entweder kurz und straff oder lang und schlaff sein kann. Je nachdem unterscheidet man eine schlotternde oder straffe Pseudarthrose.

"Eine Heilung auf konservativem Wege ist unmöglich!" (HOLLE) Bei einer Pseudarthrose sind die Fragmente durch kalkdichte Knochendeckel voneinander getrennt. Sie sind außerdem häufig noch gegeneinander verschoben. HEIM unterteilte die Pseudarthrosen in drei Hauptgruppen:

1. Pseudarthrosen durch die Mitte des Kahnbeins
2. Pseudarthrosen mit Kopf- und Pfannenbildung
3. Pseudarthrosen mit zwei konkaven Gelenkflächen

NAVICULARE BIPARTITUM

Früher wurde eine Pseudarthrose immer als ein sogenanntes Naviculare bipartitum angesehen. In den meisten Fällen stellten sich Spaltbildungen aber als unbehandelte Frakturen heraus. Die Theorie eines Naviculare bipartitum liegt darin begründet, daß zwei anlagemäßig getrennte Knochenkerne beim Embryo beschrieben wurden. Inzwischen ließ sich die Existenz des Naviculare bipartitum eindeutig nachweisen (ANDREESEN).

THERAPIE DER PSEUDARTHROSE

Wenn sich im Verlauf der konservativen Behandlung eine non-union oder die Ausbildung einer Pseudarthrose abzeichnet, ist die Indikation zur operativen Behandlung gegeben (JANIK, A WENGEN). Es sollen hier die wichtigsten Verfahren erwähnt werden.

1. BECKsche Bohrung

Bei einer sich ausbildenden Pseudarthrose kommt es zu einer Kortikalisbildung an den Bruchenden. Um im Bruchspalt die Spongiosaräume wieder zu eröffnen und so eine knöcherne Ausheilung der Pseudarthrose zu ermöglichen, empfahl BECK die nach ihm benannte Knochenbohrung.

Technik: Nach örtlicher Betäubung wird mit einem Kirschnerdraht von distoradial das Naviculare mit dem Bruchspalt durchbohrt. Um eine möglichst große Knochenwundanfrischung zu erreichen, werden auf diese Weise zehn bis fünfzehn Löcher unter intraoperativer Röntgenlagekontrolle gebohrt. Regelrecht durch den Bruchspalt zu treffen, war früher bei dem kleinen Handwurzelknochen nicht einfach. Heute können die Löcher unter direkter Sichtkontrolle mittels des Röntgenbildverstärkers gebohrt werden, was zu einer wesentlichen Vereinfachung der Technik führt.

Nach der Bohrung muß die Handwurzel für wenigstens 6 Wochen ruhiggestellt werden. Durch die BECKsche Bohrung werden neue Ossifikationszentren geschaffen und die Durchblutung verbessert. Vor allem auch durch die Verbesserung der Technik wurden mit dieser Methode gute Erfolge erzielt.

2. Blockimplantation

Eine andere Methode findet sich bei A WENGEN. In diesem Fall wurde operativ die gesamte pseudarthrotische Zone der Knochenfragmente reseziert und dadurch die Spongiosaräume eröffnet. Der Substanzdefekt wurde durch ein entsprechend großes, frisch aus dem Trochanter major-Massiv entnommenes Spongiosastück ersetzt. Das Heilungsergebnis war gut. Es wurde allerdings im weiteren Verlauf eine stärkere Atrophie des Implantates festgestellt, da der Organismus das Material erst umbauen mußte.

3. MATTI-Plastik

Von MATTI stammt der Gedanke, dem Organismus das homoplastische Baumaterial in vielen Einzelstücken zur Verfügung zu stellen. Diese Technik wurde noch verfeinert, und an Stelle von kleinen Knochenstückchen feinst zermahlener Knochenbrei verwendet. Dazu werden die Knochenfragmente am Pseudarthrosenspalz im gesunden Gewebe reseziert, wobei radial und ulnar eine dünne Knochenleiste zur Erhaltung der ursprünglichen Form und Größe des Naviculare belassen wird. In die so vorbereitete Defektstelle wird der Knochenbrei, gewonnen durch Anbohren des Trochanter major-Massivs, fest eingestopft.

4. Fibrinkleber

Eine wesentliche Verbesserung dieses Verfahrens könnte die Anwendung eines von MATRAS entwickelten Fibrinklebers bringen. Da das Transplantationsmaterial fest an die Fragmentenden geklebt werden kann, kommt es zu einem wesentlich schnelleren Einsprossen von Blutgefäßen und damit zur schnelleren Einheilung des Transplantates. Dabei dürfte die entscheidende Rolle spielen, daß die Heilung nicht durch Mikrowackelbewegungen gestört wird.

5. Spanbolzung

Bei der von WILHELM und SPERLIN beschriebenen Technik der zentralen Spanbolzung wird ein Knochenspan verwandt. Der Vorteil dieser Methode gegenüber gewöhnlichen Spanimplantationen wird darin gesehen, daß mittels eines abgestimmten Instrumentariums das in die Pseudarthrosenzone gebohrte Loch und der aus dem proximalen Ulnaknochen entnommene Span exakt gleich groß sind. Dies Operationsverfahren wird gegenüber der Spongiosabreiplombierung als relativ einfach und weniger aufwendig beschrieben.

6. Weitere Verfahren zur operativen Osteosynthese veralteter Navicularefrakturen und Pseudarthrosen sind die Fragmentnagelung nach GEISSENDÖRFER

und die Verschraubungsosteosynthese. Diese Methoden wurden bereits bei der primär operativen Behandlung der Kahnbeinfraktur beschrieben.

7. Fragmentextirpation

Die Theorie von SCHINZ, daß eine Navicularefraktur überhaupt nicht knöchern ausheilen könne mit der Konsequenz der Entfernung des Naviculare, ist heute verlassen worden. Jedoch können bei der Pseudarthrose die vorhandenen Kahnbeinfragmente eine so starke Beeinträchtigung der Bewegungsmöglichkeiten des gesamten Handgelenks mit sich bringen, daß die Fragmentextirpation indiziert sein kann. Es werden auch verschiedene Fälle angegeben, bei denen hierdurch ein günstigeres Ergebnis erzielt wurde als dem Reizzustand einer Pseudarthrose entsprach.

Heute sind aber die meisten Autoren der Meinung, daß von einer Totalextirpation unbedingt abzuraten ist!

Auch die Resektion eines kleinen proximalen Kahnbeinfragments führt nach Erfahrungen von SPIER zur Arthrose, die nicht weniger schmerzhaft ist als die Pseudarthrose und daher eine ebenso große Bewegungseinschränkung mit sich bringt.

8. Prothesen

DONALDSON, GOODMAN und Mitarbeiter berichten über 8 Patienten, bei denen nach einer Totalexstirpation des Naviculare eine Vitallium-Prothese eingesetzt worden war. Mit diesen Prothesen soll ein relativ gutes Ergebnis erzielt worden sein, jedenfalls bei Patienten, die nicht manuell arbeiten. Die Autoren sind aber von einer allgemeinen Anwendbarkeit der Prothesen nicht überzeugt.

KUNER hatte mit Endoprothesen aus Silastik gute Erfolge, außer bei der Versorgung nach Luxationsfrakturen nach DE QUERVAIN.

9. Behandlung veralteter Luxationsfrakturen

Bei veralteten Luxationsfrakturen kommt es hauptsächlich darauf an, noch bestehende Luxationen zu beheben. Dies wird aber wegen der inzwischen eingetretenen Verkürzung der Bänder oft nur operativ möglich sein. Die eigentliche Navicularefraktur wird mit einer der beschriebenen Methoden behandelt. Vorzuziehen ist in jedem Fall die Verschraubungsosteosynthese. Bei sämtlichen operativen Verfahren, die keine Übungsstabilität gewährleisten, ist die postoperative Ruhigstellung erforderlich. Durch die Operation kann der Knochenbruchheilungsprozeß nicht beschleunigt, aber optimiert werden.

URSACHEN DER SCHLECHTEN KNOCHENBRUCHHEILUNG

Aus den bisherigen Ausführungen ist deutlich geworden, daß die Knochenbruchheilung nach Frakturen des Os naviculare schlechter ist als nach anderen Frakturen.

Gleichzeitig hat dies zur Folge, daß der Prozentsatz an Pseudarthrosen beim Kahnbein besonders hoch ist. Dies wird auf verschiedene Einflüsse zurückgeführt.

Ein Grund wird darin gesehen, daß es nicht zu einer vollständigen Berührung der Frakturfragmente kommt. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß die Reposition mangelhaft war oder es durch Lockerung des Gipses zu neuen Dislokationen der Bruchstücke kommt. Insbesondere HEIM sah den Hauptgrund für die schlechte Frakturheilung im Weiterbestehen der Instabilität der Fragmente gegeneinander. Dadurch wird eine Kallusbildung behindert oder sogar unmöglich gemacht. Die Folge ist die Ausbildung einer Pseudarthrose.

Auch eine Interposition von Periost oder Teilen des Bandapparates kann eine Konsolidierung völlig verhindern (A WENGEN).

Das Kahnbein ist infolge seiner vielfachen Gelenkbeteiligung nur zu einem kleinen Teil von Periost umgeben. Daher sei auch die Kallusbildung vom Periost aus ungenügend und dies behindere eine knöcherne Konsolidation (HIRSCH). Da aber der Knochengrundsubstanz und dem Knochenmark bei der Frakturheilung eine erwiesenermaßen genauso entscheidende Rolle zukommt, wird die Ansicht von Hirsch heute nicht mehr vertreten.

OBERDALHOFF zeigte außerdem schon 1948, daß das normale Periost keine Keimschicht besitzt und somit allein nicht in der Lage ist, Kallus zu bilden.

STATISTISCHE UNTERSUCHUNG VON NAVICULAREFRAKTUREN

Brüche des Os naviculare machen den größten Teil der knöchernen Handwurzelverletzungen aus. 60 - 70 % aller Karpalknochenfrakturen betreffen das Kahnbein. Nach A WENGEN liegt die Häufigkeit der Navicularefrakturen bei etwa einem Promille aller Knochenverletzungen. Daraus läßt sich die Wichtigkeit dieser Fraktur erkennen.

1. Krankengut

Insgesamt kamen in unserer Klinik in den Jahren 1977 - 1980 45 Patienten mit Kahnbeinverletzungen zur Behandlung. Die hier zum Vergleich herangezogenen Frakturen des distalen Radius traten 722 mal auf. Das entspricht einem Verhältnis von 1 : 16. In etwa die gleichen Angaben findet man in der Literatur. So wird von WELLER und HOLZ angegeben, daß Frakturen des distalen Radius 10 mal häufiger sind als Frakturen im Handwurzelbereich. Mit dem oben angegebenen Anteil von 60 - 70 % des Kahnbeins an den Handwurzelfrakturen kommt man auf ein Verhältnis von Navicularefrakturen zu Frakturen des distalen Radius von 1 : 14 bis 1 : 17.

Unter den Kahnbeinbrüchen fanden sich auch 3 Luxationsfrakturen nach DE QUERVAIN.

2. Geschlechtsverteilung

Von den Navicularefrakturen waren überwiegend Männer betroffen, bei den Radiusfrakturen dagegen in der Mehrzahl Frauen.

	Naviculare	distaler Radius
Männer	39 86,7 %	292 40,4 %
Frauen	6 13,3 %	430 59,6 %

Tabelle 1: Geschlechtsverteilung

Diese Prozentzahlen finden sich in etwa auch in der Literatur (WELLER, HOLZ, SCHRÖDER).

3. Altersverteilung

Bei der Altersverteilung der Patienten wird eine Häufung von Navicularefrakturen im Alter zwischen 20 und 40 deutlich, was mit der erhöhten Verletzungswahrscheinlichkeit im Berufs-, Zivil- und Militärleben erklärt wird (A WENGEN). Dagegen sind die Frakturen des distalen Radius gleichmäßig auf die Patienten bis zum Alter von 60 verteilt, und erst dann ist ein signifikanter Anstieg zu verzeichnen. Dies wird darauf zurückgeführt, daß durch die altersbedingt veränderte Knochenstruktur und die verminderte Widerstandsfähigkeit ein Sturz auf die überstreckte Hand bei älteren Patienten meist eine Fraktur des distalen Radius verursacht (WELLER, HOLZ).

Patientenalter	Naviculare		distaler Radius	
	- 20	3 6,7 %	8 1,1 %	
21 - 30	15	33,3 %	82	11,3 %
31 - 40	19	42,2 %	106	14,7 %
41 - 50	5	11,1 %	90	12,5 %
51 - 60	3	6,7 %	82	11,3 %
61 - 70			182	25,2 %
über 70			172	23,9 %

Tabelle 2: Altersverteilung

Das durchschnittliche Alter der Patienten mit Navicularefrakturen betrug etwa 33 Jahre. Die Häufung der Kahnbeinbrüche im Alter zwischen 20 und 40 wird auch von anderen Autoren angegeben (WELLER, HOLZ, SCHRÖDER, A WENGEN).

4. Ursachen

Bei einer Patientenbefragung wurde überwiegend ein Sturz auf die Hand als Ursache für die Navicularefraktur angegeben (82 %). Ein direkter Schlag oder eine Quetschung wurden dagegen selten erwähnt.

5. Zeitpunkt der Diagnosestellung und des Therapiebeginns

Die Verletzung wurde von einer großen Zahl der Patienten anfangs als nicht bedeutend angesehen und für eine Verstauchung des Handgelenks gehalten. So begaben sich nur 25 Patienten (55,6 %) direkt nach dem Unfall in ärztliche Behandlung.

Am gleichen Tag	25	55,6 %
Nach 1 Tag	13	28,9 %
Nach 3 Tagen	4	8,9 %
Nach 7 Tagen	2	4,4 %
Nach mehr als 7 Tagen	1	2,2 %

Tabelle 3: Zeit zwischen Unfallereignis
und Aufsuchen des Arztes

Als Folge davon wurde auch bei fast der Hälfte der Patienten nicht noch am Unfalltag ein Gips angelegt (48,8 %).

Am gleichen Tag	23	51,2 %
Bis zu 3 Tagen	18	40,0 %
Bis zu 7 Tagen	2	4,4 %
Bis zu 14 Tagen	1	2,2 %
Mehr als 14 Tage	1	2,2 %

Tabelle 4: Zeit zwischen Unfallereignis
und Anlegen des Gipses

6. Behandlungsdauer

Die Behandlungsdauer betrug in der Mehrzahl der Fälle zwischen 9 und 14 Wochen.

Bis zu 2 Wochen	0	0 %
Bis zu 6 Wochen	7	15,5 %
Bis zu 10 Wochen	13	28,9 %
Bis zu 14 Wochen	25	55,6 %

Tabelle 5: Tragedauer des Gipsverbandes

7. Ergebnisse

Der Erfolg der Behandlung wurde sehr verschieden beurteilt.

Sehr gut	15	33,3 %
Gut	7	15,5 %
Befriedigend	20	44,5 %
Schlecht	3	6,7 %

Zu den Patienten, die das Behandlungsergebnis als befriedigend bzw. schlecht bezeichneten, gehörten die 3 Patienten mit einer Luxationsfraktur nach DE QUERVAIN und fast alle Patienten, die den Gipsverband nur 6 Wochen getragen hatten.

Die auf Grund der Verletzung angegebenen Beschwerden waren hauptsächlich Verminderung der großen Kraft, Schmerzen im Handgelenk und Bewegungseinschränkungen. Insbesondere die Patienten mit DE QUERVAINschen Luxationsfrakturen klagten zusätzlich über Durchblutungsstörungen sowie Taubheitsgefühle und Kribbeln in der verletzten Hand. Einem dieser Patienten wurde eine Invaliditätsrente in Höhe von 30 % zugesprochen.

Auf Grund dieser Ergebnisse stellt sich erneut die Frage, was die Ursache ist für die oftmals nicht befriedigenden Behandlungserfolge.

EINFLUSS DER BLUTGEFÄSSVERSORGUNG AUF DIE FRAKTURHEILUNG

Immer wieder wird eine angeblich schlechte Gefäßversorgung des Os naviculare behauptet und dann als Grund für die schlechte Bruchheilung dargestellt. Dies soll nun genauer untersucht und diskutiert werden.

Die Blutgefäße der Knochen müssen über das Periost aufgenommen werden. Da die vom Periost überzogene Fläche des Kahnbeins im Verhältnis zur Knorpelfläche gering ist, weist das Naviculare im Vergleich mit den übrigen Handwurzelknochen die niedrigste Zahl an Foramina nutritia auf (OBLETZ).

PLATZER vertritt die Ansicht, daß die Gefäßversorgung für das proximale Ende des Kahnbeins in einem Drittel der Fälle unzureichend sei.

Diese mangelhafte Blutgefäßversorgung sei bei Navicularefrakturen die Hauptursache für die Bildung von Pseudarthrosen (BÖHLER, SCHNEK).

Andere Autoren (A WENGEN, HEIM, LÜTZELER) kommen aber durch genaue Untersuchungen von Injektionspräparaten von Kahnbeinen zu widersprechenden Ergebnissen.

LÜTZELER untersuchte die genauen Blutgefäßverhältnisse sowohl an Kahnbeinen Neugeborener als auch Erwachsener. Er fand eine sehr gute Blutversorgung im distalen und auch im proximalen Abschnitt des Os naviculare.

Im proximalen Teil zeigte sich ein sehr dichtes Gefäßnetz. Die einzelnen Gefäße treten an der Ansatzstelle des palmaren Bändchens zwischen Os naviculare und Os lunatum in den Knochen ein und bilden untereinander zahlreiche Anastomosen. Durch diese Gefäße wird das Kahnbein bis in den äußersten proximalen Teil gut mit Blut versorgt. Weiter distal treten weitere Gefäße ein, und zwar an der Stelle, an der die proximale Gelenkkapsel ansetzt. Es sind dies außerordentlich starke Gefäße in größerer Anzahl.

Nur sehr kleine und daher unbedeutende Gefäße treten außerdem noch an der Ansatzstelle des dorsalen Bandes zwischen Kahnbein und Os lunatum ein.

Die distale Hälfte des Os naviculare wird vor allem im Bereich der Ansatzstellen der dorsalen Intercarpalbänder mit mehreren Gefäßstämmen versorgt. Auch am Tuberculum treten verschiedene Gefäße ein, deren Bedeutung von

LÜTZELER aber nicht so hoch eingeschätzt wird wie von OBLETZ. Dieser sieht in diesen Gefäßen eine Hauptversorgung des Kahnbeins.

Sowohl der proximale als auch der distale Teil des Os naviculare besitzen also ein reiches Gefäßnetz. Die beiden Systeme stehen auch durch zahlreiche Anastomosen in Verbindung. Das Kahnbein ist also in allen Abschnitten gut mit Blut versorgt.

Zu entsprechenden Ergebnissen kamen auch A WENGEN und HEIM. Alle zuführenden Gefäße entspringen direkt oder aus Ästen der Arteria radialis. Diese Arterie folgt dem Verlauf des Radius und wendet sich an der Handwurzel durch die Tabatiere zum Handrücken. In der Gegend der Tabatiere gibt sie den Ramus carpeus dorsalis ab, sowie den Ramus carpeus palmaris. Dieser kleine Ast bildet mit dem Ramus carpeus palmaris der Arteria ulnaris das Rete carpi palmare.

Diesen Ästen, besonders dem Ramus carpeus dorsalis, entspringen die Gefäße, die den Bändern folgend ins Kahnbein eintreten. Die Blutgefäße, die am Tuberculum eintreten, entspringen direkt der Arteria radialis.

Bei Bewegungen in den Handwurzelgelenken kommt es zu starken Verlagerungen des Naviculare. Da die zuführenden Gefäße zusammen mit dem Kahnbein bewegt werden, kommt es dabei, vor allem bei extremen Bewegungen, auch zu Dehnungen der Arterien. Dies vor allem auch deshalb, weil die Gefäße in enger Verbindung mit den verschiedenen Bändern stehen, die bei den Bewegungen ja auch stark angespannt werden.

Die Blutversorgung des Naviculare, die auf Grund des umfangreichen intraossalen Gefäßnetzes, der Anzahl und Stärke der zuführenden Gefäße als gut zu bezeichnen ist, erfährt durch diese Gefäßverlagerungen sicherlich eine Minderung. Dies wird im gesunden Zustand ohne weitere Bedeutung sein, gewinnt jedoch bei Frakturen mit der Schwere des Traumas zunehmend an Einfluß auf die Frakturheilung.

Ist es zu einer Fraktur gekommen, wurden in jedem Fall auch verschiedene Bänder mitverletzt und zumindest gezerrt. Mit dieser Bänderzerrung kommt es auch zu einer Überdehnung der entsprechenden Arterien. Dies hat eine Verschlechterung der Blutzufuhr durch diese Arterien zur Folge, mit der Konsequenz einer wesentlich verminderten Blutversorgung verschiedener Gebiete des Naviculare und entsprechenden negativen Einflüssen auf die Frakturheilung.

Kommt es gar zu einem Bandeinriß oder -abriß ist das gesamte Periost an der Ansatzstelle des Bandes betroffen. Dies kann zu einem völligen Sistieren der Blutversorgung des betroffenen Naviculareteils führen. Besonders betroffen ist davon die DE QUERVAINsche Luxationsfraktur, die ja auch eine schlechte Prognose hat (RUDOLPH, SCHÖTTLE).

Trotz seiner prinzipiell guten Blutversorgung kann es beim Os naviculare auf Grund des auch die Gefäße mitverletzenden Traumas zu Frakturheilungsstörungen kommen. Diese im Frakturfall verschlechterte Blutversorgung trifft das Naviculare natürlich besonders stark, da hier Bänder und zuführende Gefäße notgedrungen an den Ansatz- bzw. Eintrittsstellen in besonders engem Kontakt stehen.

Die größere Gefahr der Pseudarthrosenbildung nach einer Kahnbeinfraktur allein mit diesem Argument zu erklären, erscheint allerdings nicht ausreichend. Trotzdem wird diese Situation mit als ein wichtiger Punkt bei der Erklärung der Entstehung der Pseudarthrose beim Kahnbein gesehen werden müssen.

E I N F L U S S D E S B A N D A P P A R A T E S A U F D I E F R A K T U R H E I L U N G

Ob in den vielzähligen Bandverbindungen des Os naviculare mit seinen Nachbarknochen ein Grund für die verstärkte Neigung zur Pseudarthrosenbildung nach einer Fraktur liegt, soll bei einer Untersuchung dieser Bänder und ihrer Funktion geklärt werden.

1. Anatomie

Dazu ist zuerst eine Beschreibung der anatomischen Situation notwendig. Die Karpalknochen sind untereinander und mit Radius und Ulna durch verschiedene Bandzüge verbunden. Diese Bänder haben zum einen die Aufgabe, die Kapseln der Handwurzelgelenke zu schützen und zu verstärken. Zum anderen soll durch die Ligamente ein Zusammenhalt der Karpalknochen erreicht werden und extreme Bewegungen, die zu Verletzungen der Knochen führen

würden, verhindert werden.

Hier soll vor allem auf die Bänder, die am Kahnbein ansetzen, eingegangen werden.

Mit dem Radius wird das Os naviculare durch folgende Ligamente verbunden.

- 1) Das Ligamentum radiocarpeum dorsale. Dieses Band zieht vom Radius zum Kahnbein, sowie zum Os lunatum und Os triquetrum.
 - 2) Das Ligamentum radiocarpeum palmare. Dieses starke Band inseriert am Processus styloideus radii und teilt sich in verschiedene Faserbündel auf. Ein Teil dieser Faserbündel verbindet den Radius mit dem Kahnbein. Die übrigen ziehen zum Os lunatum und triquetrum, sowie zum Os capitatum.
 - 3) Ebenfalls vom Processus styloideus radii geht das Ligamentum collaterale carpi radiale aus. Es führt zum Tuberculum ossis navicularis. Es ist kurz und kräftig und hemmt dadurch die Ulnarabduktion.
 - 4) Außerdem wird das Os naviculare durch straffe Bandzüge mit dem Os lunatum verbunden, und zwar durch Ligamenta intercarpea dorsalia et palmaria.
 - 5) Gleichnamige starke Bänder ziehen vom Kahnbein auch zum Os trapezium, schwächere zum Os trapezoideum.
 - 6) Auf der palmaren Handwurzelseite ist insbesondere das kräftige Ligamentum carpi radiatum hervorzuheben, das vom Os capitatum radienförmig zu allen benachbarten Handwurzelknochen ausstrahlt, außer zum Os lunatum.
 - 7) Ein besonders breites und kräftiges, die ganze Handwurzel überspannendes Band ist das Retinaculum flexorum. Es geht aus von der Eminentia carpi ulnaris, die gebildet wird vom Os pisiforme und dem Hamulus ossis hamati. Von dort spannt es sich zur Eminentia carpi radialis, die aus den Tubercula ossis navicularis et trapezii besteht.
 - 8) Von Bedeutung ist außerdem ein weiteres vom Naviculare ausgehendes Band, das Ligamentum arcuatum carpi dorsale. Es zieht bogenförmig über den von Os capitatum und Os hamatum gebildeten Gelenkkopf zum Os triquetrum. Dadurch wird nach FICK dieser Gelenkkopf in seiner Pfanne gehalten.
- Weitere wichtige Bänder, die aber nicht mit dem Kahnbein in Verbindung stehen, sind das Ligamentum collaterale carpi ulnare, das von der Ulna zum Os triquetrum zieht, sowie das Ligamentum ulnocarpeum palmare. Dieses Band setzt am Processus styloideus ulnae und dem Discus articularis an und zieht zum Os lunatum und Os triquetrum.

Die beschriebenen Bänder stehen vielfach in enger Beziehung zueinander

Bandapparat

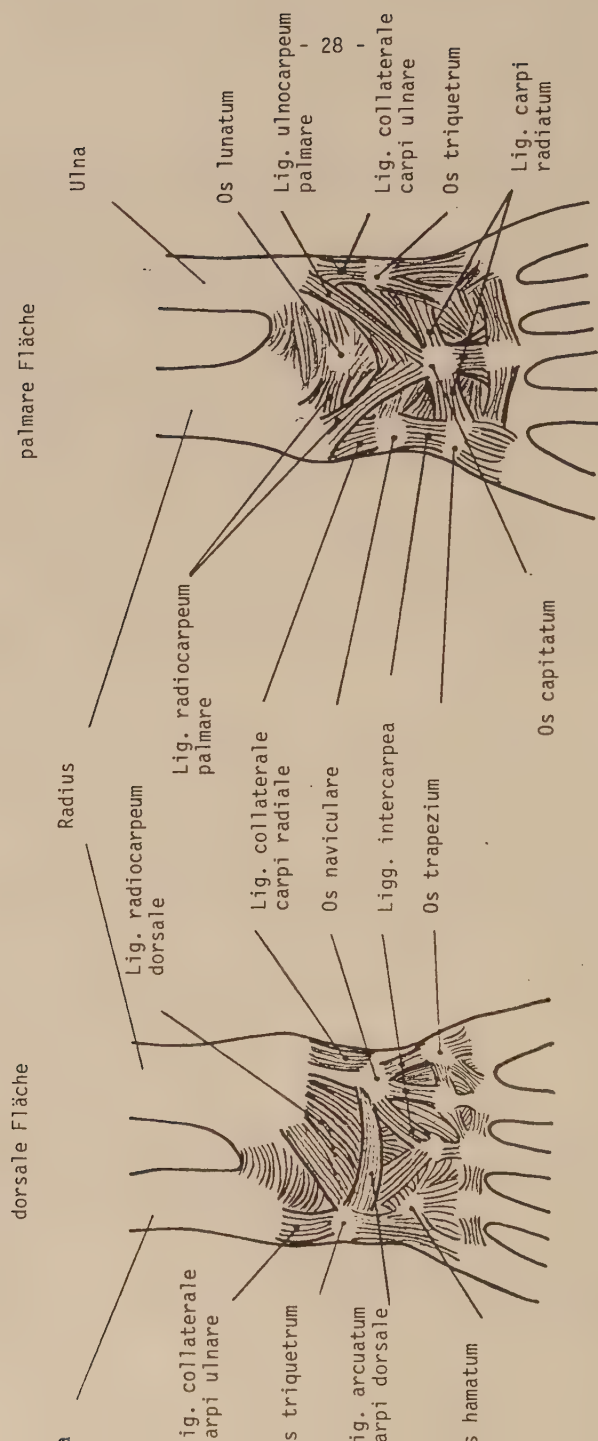


Abb. 5

und zu den Gelenkkapseln, die durch sie verstärkt werden.

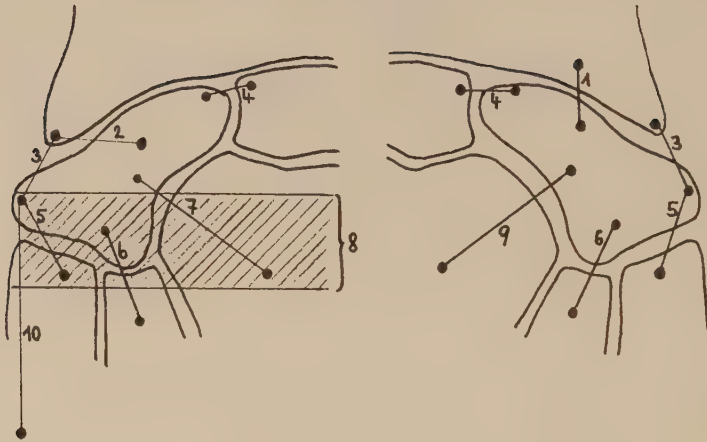
Der einzige Muskel, der vom Os naviculare entspringt, ist der Musculus abductor pollicis brevis. Sein Ursprung ist das Tuberculum des Kahnbeins beziehungsweise das Retinaculum flexorum. Er setzt am radialen Sesambein und der Phalanx proximalis des Daumens an. Verschiedene andere Muskeln haben auch ihren Ursprung am Retinaculum flexorum. Eine direkte mechanische Wirkung auf das Os naviculare ist aber nicht vorhanden.

Die Ansatzstellen der Bänder am Os naviculare liegen in dem vom Periost überzogenen Gebiet oder auch an den Kapseln der beiden Handwurzelgelenke. Versucht man, die Ansatzstellen der Bänder und des Musculus abductor pollicis brevis und deren Hauptrichtung so genau wie möglich zu lokalisieren und schematisch darzustellen, kommt man zu folgendem Ergebnis. Um eine größere Übersicht zu ermöglichen, wurde auf ein räumliches Bild verzichtet und das Os naviculare in einer Ebene senkrecht zur dorso-palmaren Achse dargestellt.

Bandschema

Palmaransicht

Dorsalansicht



- 1 Lig. radiocarpeum dorsale
- 2 Lig. radiocarpeum palmare
- 3 Lig. collaterale carpi radiale
- 4 Lig. naviculo-lunatum
- 5 Lig. naviculo-trapezium
- 6 Lig. naviculo-trapezoideum
- 7 Lig. carpi radiatum
- 8 Retinaculum flexorum
- 9 Lig. arcuatum carpi dorsale
- 10 Musculus abductor pollicis brevis

Abb. 6

2. Lokalisation der Frakturlinien und der Pseudarthrosen

Es stellt sich nun die Frage, welchen Einfluß die Bänder nach einer Fraktur des Kahnbeins auf die Knochenfragmente haben. Insbesondere bei Bewegungen in den Handwurzelgelenken wird sich dieser Einfluß bemerkbar machen, und zwar durch Dislokation oder Kippung der Fragmente untereinander.

Um diesen Einfluß untersuchen zu können, muß zuerst geklärt werden, in welchem Bereich des Os naviculare die Frakturlinien am häufigsten verlaufen.

Zum anderen muß untersucht werden, wie sich die Bänder bei Bewegungen der Hand verhalten.

Nach den Angaben in der Literatur (A WENGEN, BÖHLER, CARSTENSEN, VAN EDEN, SCHRÖDER) fällt die weitaus größte Anzahl der Kahnbeinfrakturen in das mittlere Drittel des Kahnbeins. Frakturen im proximalen und distalen Drittel machen jeweils etwa 20 % aus. Dabei muß aber berücksichtigt werden, daß zu den Frakturen im distalen Drittel auch die Abrißfrakturen des Tuberculum zu zählen sind.

Es ergeben sich durchschnittlich folgende Prozentzahlen :

Frakturen im proximalen Drittel	19 %
Frakturen im mittleren Drittel	60 %
Frakturen im distalen Drittel	13 %
Abriß des Tuberculum	8 %

Bei den Frakturen handelt es sich meistens um Querbrüche, vor allem im mittleren Drittel. Hier kommen auch horizontale Schrägbrüche vor. Dagegen fallen vertikale Schrägbrüche hauptsächlich ins proximale Drittel und ins distale Drittel (Tuberculumabriß).

Pseudarthrosen entstehen ebenfalls am häufigsten nach Frakturen im mittleren Drittel. LÜTZELER beobachtete in seinem Krankengut Pseudarthrosen sogar ausschließlich im mittleren Drittel, während HEIM und SCHRÖDER zu anderen Aussagen kommen. Danach kommen Pseudarthrosen etwa halb so oft auch im proximalen Drittel vor, während das distale Drittel nicht betroffen ist.

Diese Verteilung ist in etwa der Verteilung der Frakturlinien proportional, mit der Ausnahme, daß Frakturen im distalen Drittel stets knöchern verheilen.

3. Verhalten der Bänder bei Handbewegungen

Insbesondere FICK machte sich um die Untersuchung des Verhaltens der Bänder bei Handbewegungen verdient. Bei Radial- bzw. Ulnarabduktion ergibt sich folgendes Ergebnis.

Die Radialabduktion ist eine Bewegung, die unter Mitwirkung insbesondere des Musculus abductor pollicis longus und des Musculus extensor carpi radialis longus durchgeführt wird. Sie setzen am radialen Teil der Handwurzel bzw. der Mittelhand an. Durch die vielseitigen Verbindungen der Handwurzelknochen untereinander werden durch Zug oder Druck auch die anderen Karpalknochen mitbewegt, und damit auch das Naviculare. Die Bänder, die bei Radialabduktion gespannt werden, sind folgende:

Ligamentum radiocarpeum palmare (2)

Ligamentum arcuatum carpi dorsale (9)

Die Ulnarabduktion ist, vereinfacht gesehen, ein gegengleicher Vorgang. Ausgangspunkte sind vor allem die Musculi flexor et extensor carpi ulnaris. Die Bänder, die dabei angespannt werden, sind:

Ligamentum radiocarpeum dorsale (1)

Ligamentum collaterale carpi radiale (3)

Ligamentum naviculo-lunatum (4)

Ligamentum naviculo-trapezium (5)

Ligamentum naviculo-trapezoideum (6)

Ligamentum carpi radiatum (7)

Das Retinaculum flexorum (8) verhält sich relativ indifferent. Bei Radial- bzw. Ulnarabduktion wird es nicht gespannt. Es ändert nur seine Verlaufsrichtung.

Der Musculus abductor pollicis brevis spannt sich zur Abduktion des Daumens an und hat damit auch eine mechanische Wirkung auf das Kahnbein.

4. Einfluß der Bänder auf die Frakturfragmente

Die bis jetzt gefundenen Ergebnisse wurden zusammengefaßt und darauf aufbauend ein Modell entwickelt. In dieses Modell wurden die einzelnen Faktoren aufgenommen, nämlich die häufigsten Bruchstellen sowie die Ansatzpunkte und Wirkungsrichtung der Bänder. Dies konnte natürlich nicht quantitativ genau geschehen, in ihrer Qualität wurden die genannten Faktoren aber so gut wie möglich berücksichtigt. Mit diesem Modell soll nicht ein naturgetreues Abbild des Naviculare und der Funktionen der beteiligten Strukturen erstellt werden. Dazu ist der Funktionsmechanismus des Handgelenks viel zu kompliziert. Vielmehr sollte durch dieses Modell versucht werden, durch Vereinfachungen wichtige Aspekte sichtbar zu machen und die Einflüsse aufzuzeigen, denen das frakturierte Naviculare durch den Bandapparat ausgesetzt ist. Insbesondere soll erörtert werden, ob dieser Einfluß auch nach Fixation des Handgelenks durch einen Gips weiterbesteht und ob er sich positiv oder negativ bemerkbar macht.

Auf eine genauere Untersuchung bei Dorsalextension und Palmarflexion wurde verzichtet, da bei diesen Handstellungen das Naviculare gegenüber dem Os lunatum verdreht wird und diese Drehung ohnehin verstärkte Dislokationen der Kahnbeinfragmente gegeneinander bewirkt. Insbesondere bei Palmarflexion kommt es noch dazu zu einer Drehung des Naviculare gegenüber dem Os capitatum (LÖSCH).

Es wurde also das Verhalten der Fragmente bei den sechs wichtigsten Frakturlinien untersucht, jeweils bei Radial- und Ulnarabduktion. Die berücksichtigten Bruchlinien verteilen sich folgendermaßen auf die drei Abschnitte des Kahnbeins.

Distales Drittel : Querbruch, Tuberculumabriß

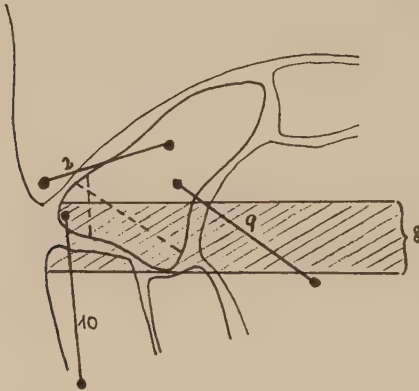
Mittleres Drittel : Querbruch, horizontaler Schrägbruch

Proximales Drittel : Querbruch, vertikaler Schrägbruch

a) Frakturen im distalen Drittel

Nach Brüchen im distalen Drittel haben bei Radialabduktion die angespannten Bänder 2 und 9 keine Wirkung auf die Frakturfragmente. Das Retinaculum flexorum (Band 8) hat eine stabilisierende Wirkung auf das kleine Fragment, ohne einen Zug auszuüben. Weder eine Dislokation noch ein Aneinanderpressen der Fragmente ist zu beobachten.

Auch eine Anspannung des Musculus abductor pollicis brevis (10) hat keine Bedeutung.



----- = Frakturlinie

Abb. 7

Bei Ulnarabduktion wird sowohl beim Tuberculumabriß als auch beim Querbruch durch die Bänder 3 und 5 ein aktiver Zug auf das distale Fragment ausgeübt und dieses dadurch an das größere Fragment gepreßt. Dieses wird durch die übrigen Bänder an die angrenzenden Karpalknochen gedrückt. Beide Fragmente sind also ohne Dislokation gut fixiert und aneinandergepreßt.

Band 8 hat stabilisierende Wirkung, der Muskel 10 ist ohne Bedeutung.

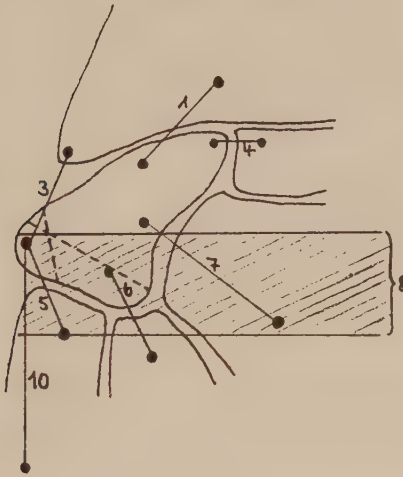


Abb. 8

b) Frakturen im mittleren Drittel

Bei Frakturen im mittleren Drittel kommt es sowohl bei horizontalen Schrägbrüchen als auch bei Querbrüchen, deren Frakturlinie zwischen den Bändern 2 und 9 verläuft, zu Abscherungen der Fragmente voneinander, und zwar durch die entgegengesetzte Zugrichtung dieser Bänder bei Radialabduktion.

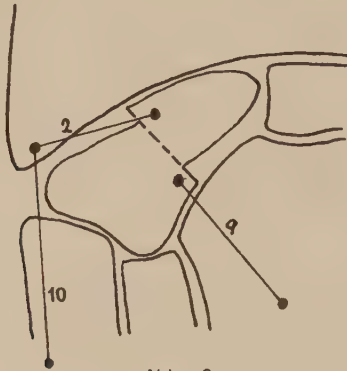


Abb. 9

Bei Frakturlinienverlauf distal des Bandes 9 wird durch den Zug von Band 2 das proximale Fragment ohne Dislokation an das distale Fragment gedrückt, wobei das distale Fragment durch Band 8 stabilisiert wird.

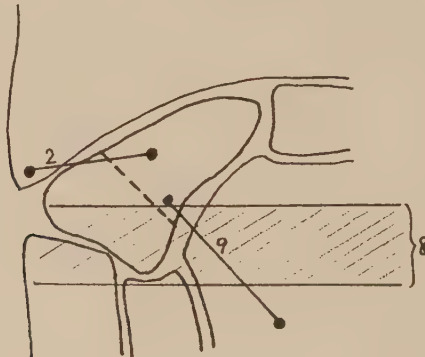


Abb. 10

Bei Ulnarabduktion werden die Fragmente sowohl bei Querbrüchen des mittleren Teils als auch bei horizontalen Schrägbrüchen gegeneinander gekippt und voneinander abgescher. Es treten starke Dislokationen auf, die hervorgerufen werden durch zwei entgegengesetzt wirkende Bandsysteme, einmal bestehend aus den Bändern 1 und 4, zum anderen aus den Bändern 3, 5, 6 und 7. Ein Anspannen des Muskels 10 verstärkt in beiden Fällen die Kippung zusätzlich.

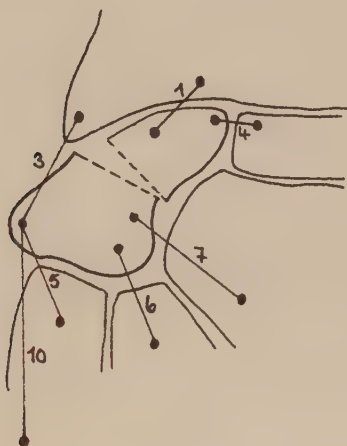


Abb. 11

c) Frakturen im proximalen Drittel

Bei Frakturen im proximalen Drittel haben die bei Radialabduktion angespannten Bänder 2 und 9 keine Wirkung auf die Frakturfragmente. Es kommt weder zu Dislokationen noch zu einem positiven Effekt im Sinne einer zusätzlichen Fixierung der Fragmente. Auch das Band 8 und der Muskel 10 haben keinen Einfluß auf die Stellung der Bruchstücke.

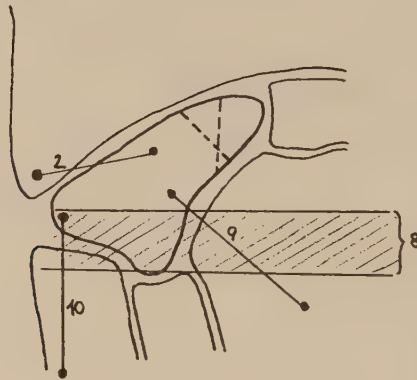


Abb. 12

Bei Ulnarabduktion kommt es sowohl beim vertikalen Schrägbruch als auch beim Querbruch zu erheblicher Dislokation und Kippung der Fragmente gegeneinander. Dies läßt sich zurückführen auf den Zug des Bandes 4, der zur Entfernung des proximalen Fragments vom distalen führt und gleichzeitig eine Kippung hervorruft. Der Zug vor allem des Bandes 1 bewirkt eine entgegengesetzte Kippung des distalen Fragments. Der Muskel 10 und das Band 8 sind ohne Bedeutung.

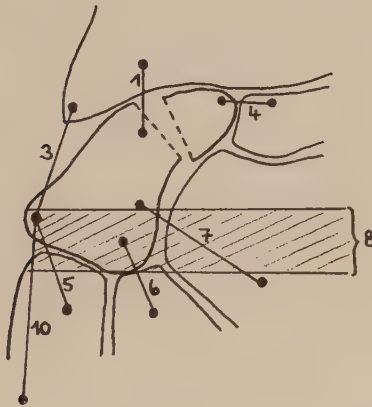


Abb. 13

5. Ergebnisse

Faßt man diese Ergebnisse zusammen, läßt sich folgendes feststellen. Bei Frakturen im distalen Drittel - dem Tuberculumabriß und dem Querbruch - ist beim Anlegen des Gipses eine leichte Ulnarabduktion der Hand zu empfehlen, da es dadurch zu einer zusätzlichen Fixation durch die Bänder kommt, was eine heilfördernde Wirkung haben wird.

Aber auch bei Radialabduktion kommt es zu keinen Dislokationen. Dies erklärt die gute Heilungstendenz der Brüche im distalen Teil des Kahnbeins und die Tatsache, daß hier keine Pseudarthrosen beobachtet werden.

Frakturen im mittleren Drittel haben eine wesentlich schlechtere Prognose.

Bei Radialabduktion kommt es zu einem Abscheren der Fragmente, wenn die Frakturlinie zwischen der Ansatzstelle des Ligamentum radiocarpeum palmare und der des Ligamentum arcuatum carpi dorsale liegt. Dies wird, dreidimensional betrachtet, gleichzeitig eine Drehung der Fragmente gegeneinander bewirken. Nur bei einem Frakturlinienverlauf distal der Ansatzstelle des Ligamentum arcuatum carpi dorsale kann mit einer besseren Heilung gerechnet werden; diese Fraktur gehört ihrem Verlauf nach aber eigentlich noch fast zu Brüchen des distalen Drittels.

Bei Ulnarabduktion verschlechtert sich die Situation noch wesentlich. Es kommt zu Kippung und starker Dislokation der Fragmente, die durch ein Anspannen des Musculus abductor pollicis brevis noch verstärkt wird. Es ist hier also unbedingt nötig, den Daumen mit in den Gips einzubeziehen. Insbesondere ist es zu vermeiden, die Hand in Ulnarabduktion zu fixieren. Besser wäre eine völlig entspannte Mittelstellung.

Die große Zahl an Pseudarthrosen im mittleren Drittel muß auf diese negativen Einflüsse des Bandapparates zurückgeführt werden.

Da sich hier also Dislokationen und Abscherungen oft nicht vermeiden lassen werden, wird zu überlegen sein, ob bei Brüchen in diesem

Bereich nicht die Indikation zur operativen Behandlung, insbesondere mit der AO-Schraube, gegeben sein wird.

Bei Frakturen im proximalen Drittel hat eine Ulnarabduktion ebenfalls eine starke Dislokation und Kippung der Fragmente zur Folge. Dagegen bleibt eine Radialabduktion ohne Wirkung auf die Bruchstücke. Es ist daher beim Anlegen des Gipses eine Ulnarabduktion der Hand unbedingt zu vermeiden und die Radialabduktion zu bevorzugen. Trotzdem ist die Prognose bei Frakturen im proximalen Teil relativ schlecht.

In jedem Fall kommt es darauf an, daß die Fixation möglichst exakt durchgeführt wird. Bei Bewegungsmöglichkeiten im Handgelenk nach Abswellen der Hand oder Muskelatrophie ist der Gips unbedingt zu erneuern.

Aber selbst unter guten Bedingungen wird eine Fraktur im proximalen und mittleren Drittel prognostisch ungünstig sein. In diesen Fällen wird eine sichere Ruhigstellung oft nur durch interne Fixation ermöglicht werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Nach einleitenden Betrachtungen über die Anatomie und die Funktion des Os naviculare wurden die verschiedenen Arten der Frakturentstehung erörtert. Die häufigste Ursache für einen Bruch des Kahnbeins ist ein Sturz auf die nach dorsal extendierte Hand. Eine Radiuskonsolenbildung wird als anatomisch-konstitutionelle Prädisposition für eine Navicularefraktur angesehen.

Da die Symptome des Kahnbeinbruchs auch nach anderen Handgelenksverletzungen auftreten, sind Röntgenaufnahmen zur Diagnosesicherung unbedingt notwendig. Aber auch hier sind feinste Fissuren oft nicht zu erkennen. Bei Anhalten der Beschwerden sollte daher eine Szintigraphie durchgeführt werden.

Bei der Therapie ist nach der Reposition eine exakte Fixation anzustreben. Die Gipsruhigstellung ist dabei stets die Therapie der Wahl. Eine operative Ruhigstellung, zum Beispiel durch Verschraubungsosteosynthese, wird nur dann durchgeführt, wenn es zu einer verzögerten Knochenbruchheilung oder Ausbildung einer Pseudarthrose gekommen ist.

Die Heilungsaussichten sind beim Kahnbeinbruch schlechter als bei den meisten anderen Frakturen, die Bildung von Pseudarthrosen ist relativ häufig.

Zur operativen Therapie der Pseudarthrose wurden mehrere Verfahren vorgeschlagen, von denen die BECKsche Bohrung, die Verschraubungsosteosynthese und die MATTI-Plastik bei Verwendung des von MATRAS entwickelten Fibrinklebers die besten Erfolgsaussichten haben.

Die auf Grund einer Navicularefraktur in unserer Klinik behandelten 45 Patienten waren zu 86,7 % Männer. Durch die stärkere Verletzungsmöglichkeit im Berufs-, Zivil- und Militärleben lag eine Häufung der Kahnbeinbrüche im Alter zwischen 20 und 40 vor. Dabei wurde ein Sturz auf die Hand als häufigste Unfallursache angegeben.

Fast die Hälfte der Patienten suchte nicht sofort nach dem Unfall den Arzt auf, so daß auch ein Gipsverband erst später angelegt wurde. Die allgemeine Behandlungsdauer lag zwischen 9 und 14 Wochen.

Nur etwa die Hälfte der Patienten bezeichnete den Behandlungserfolg als sehr gut und gut.

Daher erscheint es als besonders wichtig, die Ursachen für die schlechte Frakturheilung beim Naviculare zu untersuchen. Mangelhafte Fixation, Interposition von Gewebe und mangelhafte Kallusbildung vom Periost aus wurden dafür verantwortlich gemacht. Insbesondere auch eine angeblich schlechte Gefäßversorgung wird als Grund für die schlechte Bruchheilung angenommen. A WENGEN, HEIM, LÜTZELER kamen aber zu gegenteiligen Ergebnissen. Danach sind alle Teile des Naviculare durch verschiedene Blutgefäße ausreichend mit Blut versorgt. Da die Blutgefäße aber eng mit den am Naviculare ansetzenden Bändern verbunden sind, erfährt die Blutversorgung durch die starken Verlagerungen des Naviculare bei Bewegungen in den Handwurzelgelenken eine Minderung. Nach einer Fraktur kommt es durch die mit einer Bänderzerrung verbundene Gefäßüberdehnung zu einer weiteren Verschlechterung, die bei einem Bandabriß zu einem völligen Sistieren der Blutversorgung eines Fragments führen kann. Der Bandapparat des Naviculare und sein Einfluß auf die Frakturheilung waren Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Nach einer Darstellung der Anatomie und des Verhaltens der Bänder bei Bewegungen wurde ein Schema des Bandapparates erstellt. Mit dem darauf aufbauenden Modell wurde untersucht, wie sich nach einer Fraktur die Navicularefragmente unter dem Einfluß der Bänder bei Radial- und Ulnarabduktion verhalten. Dabei wurden die häufigsten Frakturlinienverläufe berücksichtigt. Durch diese Untersuchung konnte ein Grund gefunden werden, warum Frakturen im distalen Drittel stets knöchern ausheilen, während es im mittleren und proximalen Teil häufig zu Pseudarthrosen kommt. Um den negativen Einfluß der Bänder auf das frakturierte Naviculare nicht noch zu verstärken, wird empfohlen, die Hand nicht in Ulnarabduktion in einem Gipsverband zu fixieren, da dies bei Frakturen im mittleren und proximalen Drittel des Kahnbeins zu starken Dislokationen und Kippungen der Fragmente führt.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- 1) Andreesen R. Entstehung, Begutachtung und Behandlung
der Kahnbeinpseudarthrose
Langenbecks Arch. klin. Chir.
309, 56-63; 1965
- 2) Beck A. Die Behandlung der Pseudarthrosen mit
Knochenbohrung
Zbl. Chir. 58, 2802-2808; 1931
- 3) Böhler L. Die Technik der Knochenbruchbehandlung
Verlag W. Maudrich Wien 1951
- 4) Burri Stabile Osteosynthese: Frakturen im Hand-
bereich
Actuelle Chirurgie 4, 305-312; 1969
- 5) Carstensen E. Ursachen der Kahnbeinpseudarthrose
 Keichel F. Bruns Beitr. klin. Chir. 204, 115-124; 1962
 Schlüter D.
- 6) Donaldson Evoluation of treatment for non union of
 Goodman the carpal navicular
J. Bone Jt. Surg. 44, 169-174; 1962
- 7) Düben W. Zur Frage der operativen und konservativen
Faustgipsbehandlung des Kahnbeinbruches
Chirurg 25, 63-66; 1954
- 8) van Eden P.H. Verletzungen der Handwurzelknochen
Hefte zur Unfallheilkunde 7 1930
- 9) Fick L. Handbuch der Anatomie und Mechanik der
Gelenke 1. und 3. Teil
Verlag Gustav Fischer Jena 1911
- 10) Geissendörfer Erfahrungen und Ergebnisse mit der Nagelung
bei veralteten Kahnbeinbrüchen der Hand
Zbl. Chir. 75, 906-912; 1950

- 22) Oberdalhoff H. Zur Frage der Knochenneubildung
Chirurg 17-18, 123-129; 1948
- 23) Obletz B.E. Non-union of fractures of the carpal
Halbstein B.M. navicular
J. Bone Jt. Surg. 20, 424-428; 1938
- 24) Platzer W. Taschenatlas der Anatomie Band 1
Thieme Verlag Stuttgart 1975
- 25) de Quervain F. Beitrag zur Kenntnis der kombinierten
Frakturen und Luxationen der Handwurzel
Monatsschrift für Unfallheilkunde
3, 65-78; 1902
- 26) Rehbein F. Zur Behandlung des veralteten Kahnbein-
bruches und der Pseudarthrose
Dtsch. Z. Chir. 260, 356-378; 1948
- 27) Rudolph H. Luxationen und Luxationsfrakturen des
Schöttle H. Handgelenks
Unfallmed. Tagungen d. Landesverbandes
d. gewerbl. Berufsgenossenschaften
27, 281-288; 1976
- 28) Schamberger D. Ergebnisse der konservativen Behandlung
von Kahnbeinbrüchen der Hand
Diss. Nürnberg 1971
- 29) Schinz H.R. Navicularefraktur mit Höhlenbildung
Zbl. Chir. 24, 857-861; 1922
- 30) Schnek F. Die anatomisch-konstitutionelle Bedingt-
heit der typischen Handwurzelverletzungen
und die Erfolge der konservativen Behandlung
Bruns. Beitr. klin. Chir. 146, 333-382; 1929
- 31) Spann Pathologie des Traumas
Fischer Verlag J.F. Bergmann München 1967
- 32) Spier W. Rekonstruktive Eingriffe im Bereich der
Handwurzel
Chirurg 52, 306-309; 1981

- 33) Schröder A. Die Verletzungen der Mittelhand- und Handwurzelknochen
Diss. Erlangen-Nürnberg 1972
- 34) Waldeyer A. Anatomie des Menschen 2. Teil
Verlag de Gruyter Berlin 1975
- 35) Weller S. Frakturen im Handwurzelbereich
Holz U. Chirurg 52, 297-300; 1981
- 36) à Wengen Zum Kahnbeinbruch der Hand und seine unfallmedizinische Bedeutung
Aktuelle Probleme in der Chirurgie Bd. 11
Verlag Hans Huber Bern 1971
- 37) Wilhelm A. Zur Technik der zentralen Naviculare-
Sperlin M. verspannung
Chirurg 34, 29-31; 1963
- 38) Willenegger H. Technik der operativen Frakturenbehandlung
Müller M.E. Springer Verlag Berlin 1963
Allgöwer M.

Herrn Prof. Dr. Holle danke ich
für die freundliche Überlassung
des Themas
und Herrn Dr. Wischhöfer für die
hilfreiche und nette Zusammen-
arbeit.

LEBENS LAUF

6. Mai 1957	Geboren in Stuttgart Eltern: Hasso und Anne Schlömer
September 1963 bis Juli 1967	Besuch der Stuntz-Volksschule in München
September 1967	Eintritt in das Wilhelmsgymnasium in München
Juni 1976	Abitur am Wilhelmsgymnasium in München
Oktober 1976	Aufnahme des Studiums der Zahnmedizin an der Universität Göttingen
März 1977	Wechsel an die Universität München
Oktober 1977	Naturwissenschaftliche Vorprüfung an der Universität München
April 1979	Zahnärztliche Vorprüfung an der Universität München
Dezember 1980	Heirat mit Ingrid Schlömer, geb. Stelzer
Januar 1982	Zahnärztliches Staatsexamen an der Universität München

